

# Yangın kaçış yollarındaki duman perdelerinin duman hareketine etkisi

**Mustafa ÖZGÜNLER\*, Zerrin YILMAZ**

*İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, Taşkışla, Taksim, İstanbul*

## Özet

*Bina yangın performansının deneysel olarak laboratuvar ortamında belirlenemediği durumlarda çağımız teknolojisinin yardımı ile bilgisayar modellemeleri yapılması gerekmektedir. Havacılık, denizcilik gibi bir çok alandaki eğitim sürecinin büyük bir bölümünü oluşturan bilgisayar yardımı ile modelleme yakın bir gelecekte yangın eğitiminde de önemli bir yer alacaktır. Bu çalışmanın amacı yukarıdaki öngörüden yola çıkarak, örnek bir bina içerisinde herhangi bir mekanda çıkacak yangında oluşacak dumanın komşu mekanlara olan etkisini belirli simülasyon programları ile modelleyerek duman yayılmasını yavaşlatmak için kullanılan duman perdelerinin farklı konumlandırılmalarının genel duman hareketine etkisini incelemektir. Yapılan modellemelerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, duman perdelerinin aralarında perde yüksekliği ile orantılı olarak belli mesafeler bırakılması gerektiği ve bu mesafenin de perde yüksekliğinin en az altı katı kadar olması durumunda optimum sonuç alındığı görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** *Duman perdeleri, duman ve/veya hava hareketi, duman kontrolü, CFD, FDS, yangın modelleme programları.*

## The effects of smoke curtains on smoke movement in fire escape routes

### Abstract

*One of the architect's duties is to increase the fire performance of the building, trying on different alternative models before construction. With the help of today's advancing technologies, it is possible to guess the effects of a fire under different circumstances. Fire tests done on full-scale models give the best predictive results. However, testing on both full and small-scale models of present buildings, which are becoming larger and complicated, is both expensive and time consuming. In general, it's not possible to perform all these types of tests. In the event of the impossibility of testing building fire performance in laboratory, computer simulations are used. In the near future simulation techniques will also be a part of fire testing like many sectors such as aviation and navigation. The purpose of this study is to investigate the effects of smoke curtains in different position on smoke filling time, smoke spread velocity in neighbouring enclosures by modelling with the help of the simulation programs and various analytical methods. As a result of the simulation method, it has been observed that the distance between the smoke curtains must be left relatively to the height of the curtains and the optimum distance must be at least six times as the height of the smoke curtains.*

**Keywords:** *Smoke curtains, smoke and/or air flow movement, smoke control, CFD, FDS, fire modelling programs.*

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mustafa ÖZGÜNLER. [ozgunlrm@itu.edu.tr](mailto:ozgunlrm@itu.edu.tr); Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2361.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Mimarlık Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Duman perdelerinin sıcak gaz ve duman hareketine etkisinin incelenmesinde bir yöntem" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 02.12.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 17.03.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Doğadan devşirilen ya da biraz dönüştürülme ile kullanılan basit barınaklardan, farklılaşan ihtiyaçlara göre değişen farklı tip ve boyutta konuta geçilmesi ile gelişen yapı kavramı, bir çok şeyi değiştirmiş olmasına rağmen insanoğlunun yaşadığı yeri daha güvenli ve konforlu hale getirme isteği bugüne değin hiç değişmemiştir. Bu istek ile insanoğlu doğada karşılaştığı ve kendini korumak için türlü önlemler aldığı tehlikelerden çoğuna karşı yaptığı savaşı kazanmış ve bazılarını tamamen yok etmiştir. Ancak, yüzyıllardır sürdürdüğü mücadeleye rağmen yangın tehlikesi insanoğlu için halen ortadan kaldırılamamış bir tehdittir.

Bugüne değin gelişen teknoloji ile birlikte yangına karşı savaşta insanoğlu önemli atılımlar yapmış olmasına rağmen, teknolojiye paralel olarak yangın türleri de çoğalmış ve kendisini önemli bir tehlike olarak korumayı başarmıştır.

İnsanoğlunun gelişmesinde bu derece önemli rol oynayan ateşten vazgeçmek ya da ateşin kontrolden çıkmasıyla oluşan yangının hiç çıkmamasını sağlamak, dün olduğu gibi bugün de mümkün olmasa bile, bazı önlemlerle, biraz dikkat ve bilgi sayesinde verdiği zararlar en aza indirgenebilir. Yangından doğacak zararı önlemenin veya azaltmanın en başta gelen yolu; tehdit unsuru olan tehlikeleri bulup, incelemek ve ortadan kaldırmak, yangın anında ve/veya yangından sonra gerekli kişi ve araçların yangına hemen ve de emniyetli şekilde müdahale edebilmelerini sağlayacak önlemleri almaktır.

Yangınlarda görülen can kayıplarının bir çoğu bina içerisinde oluşan dumanın ve zararlı gazların solunması ile oluşan zehirlenmelerdir. Bu oran tüm ölümlerin % 75'ini oluşturur ki, bu da çok fazla bir miktardır (Sunar, 1981). Yanmakta olan farklı malzemelerden çıkan zehirli gazların türleri yapılan deneyler sonucu belirlenebilmektedir. Malzemelerden çıkan bu tip gazların türüne göre tehlike sınırlarının belirlenmesi de mümkündür. İnsanlar için belirlenen tehlike sınırları kişinin fizyolojik yapısına, yaşına, cinsine göre değişebileceği ve ayrıca yanma gazlarının yanma ortam şartlarına bağlı olarak insanı etkileyiş biçimlerinin farklılaşacağı için, kesin

bir rakam olarak alınmamalıdır. Örneğin, karbon içeren tüm malzemelerde yanma anında çıkan karbondioksit gazının, ortamdaki oksijen yetersizliği nedeni ile daha tehlikeli olan karbonmonoksit gazına dönüşmesi ile insan üzerindeki yapacağı etki tamamen farklılaşacaktır.

Bina içerisinde serbestçe dolaşan bu tip zehirli gazlar içeren duman tabakasının zehirleyici etkisinin yanı sıra, sıcaklığı da kullanıcılar açısından büyük tehlike olabilmektedir. Birçok yangında yangın başlangıcından çok kısa bir süre sonra kaçış yollarını kullanarak binayı terk eden kullanıcılarda bile giysi korunması olmayan yerlerde özellikle ısıya çok duyarlı göz kapaklarında yanıklar görülmüştür (Purser, 1992).

İnsan vücudunda deri sıcaklığının 44.8°C'ye çıkmasını sağlayacak güçteki bir sıcak hava akımı bile deride hücre bozulmaları başlatacağından, acıya ve ufak yanıklara neden olabilmektedir. "Kaçış yollarında 60 °C sıcaklıkta bir yüzeye dokunulduğunda 10 saniye içerisinde deride protein pıhtılaşması oluşacak ve acı veren önemli yanıklara sebep olacaktır" (Purser, 1992)

Yangından korunmadaki ilk amaç kullanıcıların güvenliğini sağlamak olduğundan, tasarım aşamasında alınacak kararlarla kullanıcılar için ölümcül bir tehlike olan dumanın bina içindeki hareketi ve yayılması kontrol edilmelidir. Binalarda duman yayılmasını engelleyebilmenin etkili yolu ise dumanın ve sıcak gazların özelliklerini bilmektir. Bu tip veriler bilinirse dumanı kontrol altında tutmak çok daha kolay olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, dumanın ve sıcak gazların yangın anındaki davranış mekanizmalarını yıllardır yapılmakta olan bire bir ölçekli yangın deneyleri ve gerçek yangınlardan alınmış veriler ile incelemektir. "Yangın Mühendisliği Biliminin" geliştirdiği analitik çözümlemeleri ve bilgisayar destekli yangın modellemelerini kullanarak tasarım aşamasındaki her hangi bir mekanın üç boyutlu modelleri üzerinde çalışmak mümkündür. Tüm bu veriler ile duman oluşu ve sıcak hava hareketini gösteren modellemeler yaparak, bu harekete karşı kullanılan duman perdelerinin genel yangın dinamiğine etkisi, bina proje aşamasında iken incelenebilecektir.

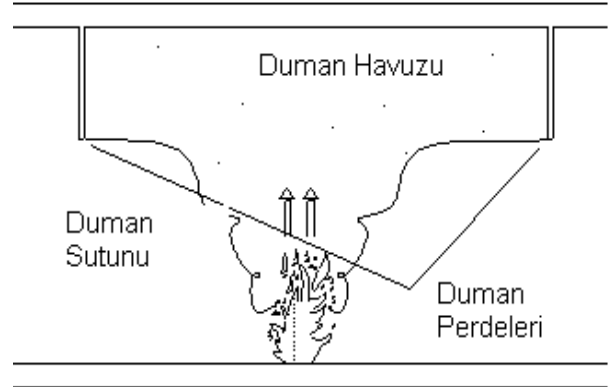
## Duman perdeleri

Dumanın bina içinde yayılmasını engellemenin en basit yolu en kısa yoldan bina dışına atılmasını sağlamaktır. Tek katlı binalarda bu problem çatı havalandırma menfezleri ile kolaylıkla çözülebilir. Özellikle günümüz teknolojisi ile yapılmış büyük ve çok katlı binalarda dumanı doğrudan dışarı atmak bu kadar basit değildir. Bu gibi durumlarda, mekanik havalandırma tesisatları devreye girer. Ancak, gerek aktif, gerek pasif sistem kullanımında dumanın menfez bölgelerinde toplanmasının sağlanması ve tüm bina içine yayılmasının engellenmesi gerekmektedir. Dumanın yatay düzlemlerin altında kaldırma kuvvetleri etkisi ile oluşan yüzme hareketi (buoyancy) ile her yönde yayılmasını engellemek amacı ile tavandan sarkıtılan duman bariyerleri kullanılır. Bu tip engellere duman perdesi denir. Duman perdeleri tavandan belli yüksekliklere kadar sarkarak belli derinliklerde Şekil 1'de görüldüğü gibi duman biriktirme hazneleri oluştururlar. Bazı durumlarda, bu hazneler yükseltilmiş tavan şeklinde de uygulanabilirler ancak çok katlı binalarda döşeme plağında bu tip hareketler oluşturmak mümkün olmamaktadır. Bu tip yapılarda sarkan perdeler oluşturmak daha pratiktir. Oluşturulan duman haznelerinin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sıcak gaz ve dumanın yayıldığı alanı sınırlandırarak zarar gören alanı azaltırlar.
- Sıcak havayı belli alanda tuttuklarından sadece hazne içindeki yağmurlama sisteminin çalışmasını sağlarlar.
- Hazne hizalarında doğal havalandırma menfezleri var ise, biriken sıcak hava ve duman tabakası kalınlığı, çekimi kolaylaştırır.
- Duman perdesi alt hizasında oluşan ara tabaka kullanıcılara kaçış süresi kazandırır.

Değişik duman perdesi boyları kullanılarak farklı derinliklerde duman hazneleri oluşturmak veya dumanın istenen yöne doğru hareket etmesini sağlamak mümkündür. Ancak, duman perdelerinin doğru tasarlanmadığı takdirde zararlı olabileceğini de unutmamak gerekir. Bu dezavantajlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Küçük duman haznelerinde hazne içi sıcaklık çok çabuk artabileceği için, ikincil bir tutuşma kaynağı oluşturabilirler.
- Duman perdelerinin kesit kalınlıkları arttığında, duman doluş süresinde azalma olacaktır.
- Duman hazne boyutları içindeki duman soğuyup alçalarak ortam havasına karışacağı için çok büyük olmamalıdır (Stollard ve Abrahams, 1991).



Şekil 1. Tavandan sarkan duman perdeleri ile oluşturulmuş duman haznesi

Belli kuralların uygulanması ile bu dezavantajlar kolaylıkla ortadan kaldırılabilir. Duman perdesi uygulanırken dikkat edilmesi gereken önemli kavramlar ilgili yönetmeliklerde belirtilmiştir. Almanya'da yönetmelikler ile hazne boyutlarına kısıtlamalar getirilmiştir. Avrupa'da yapılan araştırma sonuçlarında tavan yüksekliği fazla olan yapılarda perdenin sarkan kısmının tavan jetini durdurabilmesi için tavan yüksekliğinin 1/10'u kadar olması gerektiği görülmüştür. Bu varsayım ile perde derinliği (d), h/10 olarak alınabilir (Alpert, 1975).

NFPA 204M ise çok derin haznelerde aşırı ısınma riski olacağı için mekan yüksekliğinin 1/5'i kadar perde yüksekliği önermektedir (NFPA 204M, 1982).

## Duman perdelerinin duman doluş süresine etkisi

Teorik olarak duman perdeleri ile mekanı dolduran duman üretimi arasında herhangi bir bağlantı olmadığından, duman perdelerinin duman

üretimine bir etkisi olmayacağı açıktır. Ancak, duman perdelerinin yatay düzlemdeki kesit alanları toplamı büyüdükçe, duman ile dolacak mekan alanı azalmaktadır. Bu durum doluş süresinin ( $t$ ) azalmasına neden olacaktır. Bu azalma bilinir ise, kaybedilen bu sürenin tekrar kazanılması için bazı ek önlemler alınabilir.

Duman doluş süresi hesaplama amacı ile kullanılabilecek birçok ampirik bağıntı ve kabul vardır. Bu bağıntılardan parametrelerinin azlığı nedeni ile en basit olanı duman sütununa giren hava miktarına göre duman hacmi hesaplayan bağıntıdır.

Şekil 2’de X uzunluğunda Y genişliğinde ve h yüksekliğinde bir koridor mekanı görülmektedir. Bu mekanın zemin ile duman alt tabakası arasında kaçış mesafesi kalacak şekilde, duman doluş süresi hesaplandığında aşağıdaki sonuç çıkacaktır (Shields ve Silcock, 1987).

$$t = \frac{20(XY)}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[ \frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (1)$$

Aynı mekan et kalınlığı  $W$  olan ve tavandan  $d$  mesafesi kadar sarkan ve aralarında  $Z$  mesafesi olan  $DP1$ ,  $DP2$ ,  $DP3$ ,....., $DPn$  olarak adlandırabileceğimiz  $n$  adet duman perdesi ile bölün-

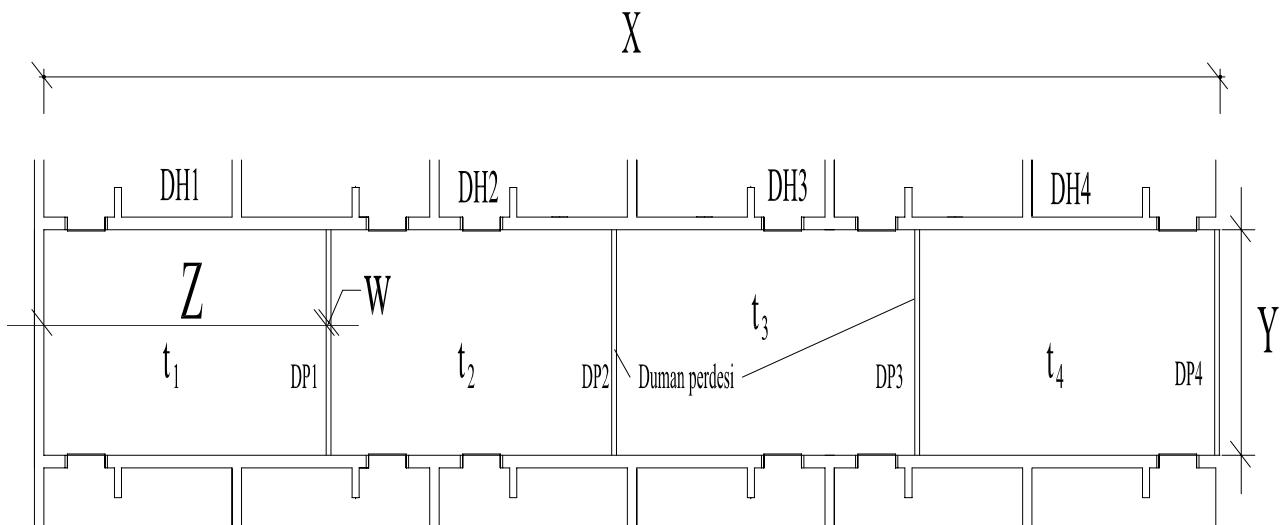
düğünde,  $Z$  genişliğinde  $Y$  eninde ve  $d$  yüksekliğinde  $DH1$ ,  $DH2$ ,  $DH3$ ,....., $DH(n+1)$  olarak adlandırabileceğimiz  $(n+1)$  adet duman haznesi oluşturulmuş olur. Oluşturulan her bir duman haznesinin doluş süresi duman alt tabaka hizasının duman perdesi alt hizasına geldiği ana eşittir. Bu durumda (1) numaralı bağıntıda  $XY$  yerine hazne boyutları, ( $y$ ) yerine de  $(h-d)$  yazıldığında duman haznesinin doluş süresi basit bir şekilde hesaplanmış olur.

$$t_{DH1} = \frac{20(ZY)}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[ \frac{1}{(h-d)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (2)$$

(2) numaralı bağıntıdaki  $t_{DH1}$  yangın kaynağına en yakın ilk haznenin saniye cinsinden dolma süresidir. Haznelere ayrılmış böyle bir mekanda, mekanın perde alt hizasına kadar komple dolma süresi ise, tüm haznelerin doluş süreleri toplamına eşittir.

$$t_{\text{top(DH)}} = t_{DH1} + t_{DH2} + t_{DH3} + \dots + t_{DH(n+1)} \quad (3)$$

Ancak duman haznelerinin doluş süreleri toplamı, duman perdesi olmayan mekanın doluş süresinden, mekan içinde yer tutan perdelerin kapladığı hacim nedeni ile daha az çıkacaktır.



Şekil 2. Dikdörtgen planlı bir koridorda duman perdeleri kullanılarak oluşturulmuş duman hazneleri

İki doluş süresi arasındaki bu fark  $t_{kayıp}$  olarak alınabilir. Özellikle kalın ve çok sayıda duman perdesinin kullanıldığı çözümlerde bu süre önemli olabilmektedir. Duman komşu mekana aradaki kayıp süre kadar erken girecektir.

Aktif sistem desteği olmadan problemin çözülmesi için önerilen yöntem komşu mekana açılan kapının üzerindeki bölgeyi de ayrı bir duman perdesi gibi düşünerek lento alt hizasını duman perdesi alt hizasından  $M$  kadar aşağıda tutmakla olur. Böylece tüm mekan alanı ile  $M$  yüksekliğinin çarpımına eşit bir hacim oluşturularak; bu hacmin doluş süresi kadar bir zaman kazanılmış olacaktır.  $M$  mesafesinin sayısal değerini bulabilmek için (1) numaralı formülünden  $y$  değerini çekerek yeni bir hesaplama yapmak gerekmektedir.

$$y = \frac{400 A^2 h}{t^2 p^2 gh + 40 A t p g^{\frac{1}{2}} h^{\frac{1}{2}} + 400 A^2} \quad (4)$$

(4) numaralı bağıntıda ( $t$ ) değeri yerine  $t_{kayıp}$  ( $t - t_{top(DH)}$ ) değeri konulduğunda; bu süre içerisinde duman alt tabakasının zemine olan uzaklığı bulunmuş olur ( $y_{t_{kayıp}}$ ). Yüksekliği  $h$  olan her hangi bir mekanda  $t_{kayıp}$  süresinde oluşmuş bu tabakanın kalınlığı ise;

$$M = h - y_{t_{kayıp}} \quad (5)$$

olarak hesaplanabilir. Bu durumda mekan içinde kullanılan duman perdelerinin haricinde, komşu mekana ulaştıran son kapının lento alt hizası en az  $h - (d + m)$  yüksekliğinde olmalıdır. Dolayısı ile son duman perdesi boyu geciktirme zamanı katıldığında;

$$d_{son} = d + M \quad (6)$$

olmalıdır.

Duman doluş süresi hesabı için verilen (1) numaralı bağıntıdan da anlaşılacağı gibi, duman doluş süresi hesaplamasında kullanılan formüller güvenli tarafta kalacak şekilde sadeleştirilmişlerdir. Duman üretiminde duman alt tabakası ile zemin arasında oluşan duman sütununa karı-

şan hava miktarına göre hesaplama yapılmıştır. CFD tabanlı programlarla yapılacak hesaplamlarda yangının büyümesi de analitik olarak hesaba katıldığından özellikle havalandırma problemi olmayan yangınlarda kaçış süresi için düşünülen zaman elbette ki fazla çıkacaktır. Buna rağmen karışıma giren hava miktarına göre hesaplama formülleri duman alt tabakası belli bir kota indikten sonra,  $y$  mesafesi azalacağından, duman sütununa giren havayı azaltacak ve doluş süresi daha uzun olarak hesaplanacaktır. Bu nedenle, duman sütunu boyunun çok az olduğu durumlarda bağıntı güvenli tarafta kalan sonuçlar vermeyecektir.

### Duman perdelerinin duman yayılma hızına etkisi

Dumanın yangının başladığı mekanı düşeyde doldurma tehlikesinin yanı sıra yatayda yayılması da ayrı bir tehlike oluşturmaktadır. Bu tip yayılmaya etki eden faktörlerden en önemlisi tavan alt hizasında oluşan ve tavan jet hareketi diye adlandırılan sıcak gaz hareketidir. Duman ve sıcak gazları, bina ve/veya mekan içinde dolaşan bir akışkan olarak aldığımızda, hareketin temelinde tüm akışkanlarda olduğu gibi basınç farklılaşması olduğunu görürüz. Bu nedenle, bina içerisindeki duman ve gaz hareketini, farklı basınç bölgelerini dengeleyen yatay hava hareketi olan rüzgara benzetmek mümkündür.

Hareket halindeki duman ve gaz tabakası da rüzgar gibi tavanın hemen altında türbülanslı bir hareket oluşturur. Bu bölümü yeryüzü sınır tabakası olarak kabullenirsek; tavandaki jet hareketini yeryüzünü yalayan rüzgar, tavan yüzeyindeki pürüzleri de türbülanslı sınır tabakayı yaratan yeryüzü topografyası olarak almak mümkündür.

Bu kabulden yola çıkarak, her hangi bir yangın mekanında oluşan tavan jeti tavan yüzeyine ulaştığı anda yüzeydeki pürüzler onu frenlemeye çalışacak bu frenleme etkisi ile türbülans oluşacaktır. Böylece oluşan çalkantı, rüzgar örneğindeki gibi duman tabakası hızının zaman içinde doğrultu ve büyüklük olarak sürekli değişiklik göstermesine neden olur. Böyle bir ortamda anlık hız ölçümü yapabilmek için diğer bileşen-

lerin de devreye girmesi gerekir. Anlık olarak rüzgarın hız vektörü olan  $V(t)$  üç bileşeni ile belirlenir. Bileşenlerin bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$V = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad (7)$$

$u$  = Akışkanın hakim yolunu belirleyen boyuna (yatay) bileşen,

$v$  = Akışkan doğrultusuna yanlardan etki eden (enine) bileşen

$w$  = Genelde yerçekimi ivmesi ve/veya dönüş jeti ile oluşan düşey bileşen olarak alınır (McGrattan vd., 2004).

$V$  hızındaki akışkan sürtünmenin yavaşlatma etkisine rağmen yatay vektörü doğrultusunda ( $u$ ) yoluna devam edecektir. Özellikle akışkan için kanal oluşturabilecek koridor tipi mekanlarda akışkan bir engelle karşılaşana kadar mekan boyunca ilerler. Burada akışkanın karşılaşacağı ilk engel duman perdesi olacaktır.

Engelle karşılaşan  $V1$  hızındaki bir akışkanın engel arkasındaki hızının geldiği düzey olan  $V2$ , akım çizgilerinin yönleri, rüzgar üstü ve rüzgar altı bölgelerde oluşan girdaplar bina aerodinamiği açısından çok önemli olduğundan, mimarlık bilim dalının ilgilendiği alanlardan birisidir. Bu nedenle, yerleşme ölçeğinden eleman ölçeğine kadar birçok ölçekte deneyler yapılmış ve genel olarak bina-rüzgar etkileşimi sonucu oluşan akım çizgileri ortaya çıkarılmıştır.

Araştırmalar sonucunda, engelle karşılaşan akışkanın engelin etrafından dolaşarak arka tarafa geçme eğilimi gösterdiği, engel arkasında engel yüksekliği ile orantılı olarak artan bir iz bölgesi oluşturarak tekrar eski hızına ulaştığı görülmüştür.

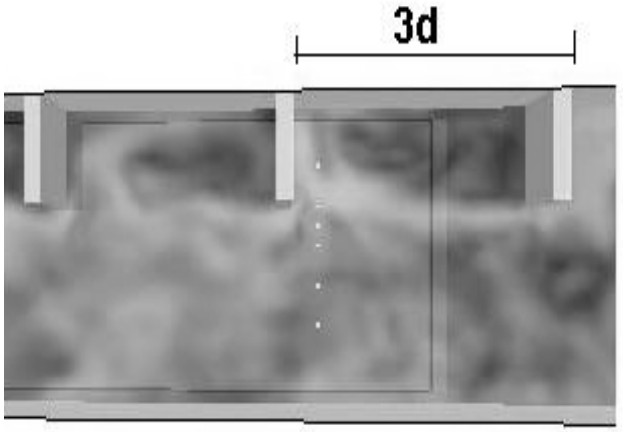
Bina içinde yayılan duman ve sıcak gazların rüzgar hareketine benzer özellikler gösterdiği varsayımı ile duman perdelerinin bina – rüzgar etkileşiminin benzeri özellikler göstereceğini söylemek doğru olacaktır. Bu varsayımla duman perdesi arkasında perde boyu ( $d$ ) ile orantılı bir iz bölgesi oluşacaktır.

Yukarıdaki varsayım doğrultusunda rüzgar tüneli yardımı ile yapılabilen hız ölçüm düzeneğinin bir benzeri yangın anında oluşacak ortamı akışkanlar dinamiği prensiplerine dayanarak hesaplayabilen “Fire Dynamics Simulator” (FDS) yazılımı yardımı ile sanal olarak kurulmuş belirlenen noktalarda yapılan hesaplamalarla hızlar ortaya çıkarılmıştır. Hesap noktaları ilk duman perdesi arkasında duman perdesi yüksekliğinin 0 - 7 ve 10, 15, 20 katı kadar mesafelerde olacak şekilde seçilmiş; engel etkisi olmayan bir nokta olması açısından duman perdesinin aksından  $d$  mesafesi kadar önde olan bir noktada da hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre aralarında duman perdesi yüksekliği kadar mesafe bırakılarak yerleştirilen duman perdelerinde; duman hazneleri dolmadan perde alt kotu hizasında hızlı bir duman hareketi oluşmuş ve hazne içlerine sıkışan ortam havası döngüsel bir harekete girerek üst kotlarda birikmesi gereken dumanı alt kotlara ötelemiştir.

Duman perde boyunun iki katı kadar aralıkla düzenlenen duman haznelerinde perde alt kotundaki girdap bölgesi kalınlığı artmış; ilk duman perdesinden ayrılan akım çizgisi bir sonraki duman perdesini atlayarak hemen arkadaki hazneye yönelmiştir. Aradaki duman haznesinde kararsız bir akım görülmüştür. Aralarında  $3d$  kadar mesafe bırakılarak düzenlenmiş duman perdelerinde; ilk duman perdesinin arkasındaki duman haznesi ile aynı anda bir sonraki hazneye yönelen bir akım ayrışması olduğu görülmüştür (Şekil 3). Bu durumda  $3d$  mesafesinin kritik bir mesafe olduğu iz bölgesi sınırının bu aralıkta bulunduğu söylenebilir.

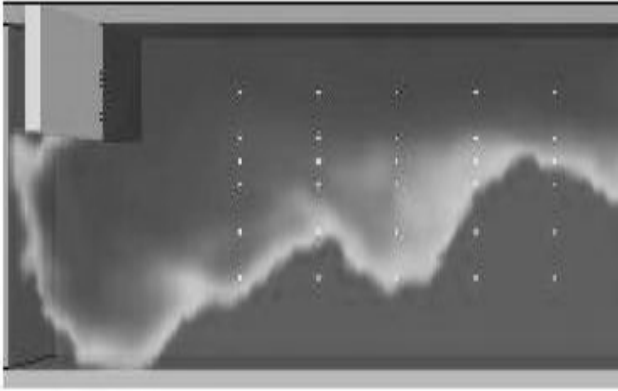
Perde boyunun dört katı mesafesi ile yapılan konumlandırmada iz bölgesi içinde başka bir perde olmadığından duman hazneleri içine doğru yönelen akım çizgileri hazne aralarında daha az ortam havası sıkışmasına neden olmuştur.

Perde boyunun 5-6-7 katı mesafelerde konumlandırmalarda ise  $4d$  mesafesine benzer sonuçlar elde edilmiş ancak  $6d$  mesafeden sonra hazne içinde istenen düzgün doğrusal yayılmanın sağlandığı görülmüştür.



Şekil 3. Duman perdesi iz bölgesi sınırında bulunan diğer perdenin akım biçimlenişine etkisi

Duman perdesi aralıklarının  $10d$ ,  $15d$  ve  $20d$  ye çıkarılması ile elde edilen sonuçlarda ise, akım çizgilerinin şekillenmesi değişmemiştir. Bununla birlikte,  $20d$  mesafede hazne içinde hareketsiz bir duman tabakası oluşmuş ve bu tabaka bir sonraki duman perdesi önünde oluşan türbülans ve azalan tavan jeti nedeniyle tavan hizasında ilerlemek yerine, Şekil 4'te görüldüğü gibi çökme eğilimi göstermiştir.



Şekil 4. Aralarında  $20d$  mesafe bulunan duman perdesi önünde duman tabakasında görülen alçalma

Üst tabaka dumanının bir sonraki hazneye akmak yerine, bu derece alçalarak alt tabakayı oluşturan ortam havasına karışması kullanıcı güvenliği açısından çok sakıncalıdır. Üst tabaka dumanının alçalmasının en önemli nedenlerinden birisi de duman tabakasının azalan sıcaklığıdır.

### Duman perdelerinin sıcaklık dağılımına etkisi

Duman perdelerinin sıcaklık dağılımına yapacakları etki başlıca iki farklı yönde incelenebilir. Bunlardan ilki duman perdeleri ile ilgili yönetmeliklerde de değinildiği gibi, perdeler tarafından oluşturulmuş duman haznesi boyutlarına göre hazne içinde biriken duman ve gaz tabakasının çok fazla ısınması, diğeri ise hazne içinde biriken dumanın soğumasıdır. Isınma veya soğuma yangın dinamiğini etkileyecek iki önemli faktördür.

Hazne çok büyük olduğunda içinde biriken hava soğuyacak ve yoğunluğunun artması nedeni ile çökmeye başlayacaktır. Bu durumun yaratacağı iki farklı tehlike vardır. Birincisi çökerek ortam havasına karışan üst tabaka dumanı, ikincisi ise duman haznesi içinde pasif yolla çalışan duman atım bacası var ise, bu bacadaki azalan çekim nedeni ile bina dışına atılması gereken duman miktarındaki azalmadır.

Hazne çok küçük olduğunda ise, hazne içerisinde sıcaklık çok hızlı artacağından, sıcak gaz içinde bulunan yarı yanmış mamuller için ikinci bir tutuşturma kaynağı oluşacaktır. Yangın yükü fazla olan binalarda uygulanacak derin haznelerde sıcaklık  $400^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkabilmektedir. Bu hazne içinde bulunan tüm yanıcı malzemelerin tutuşmaları için yeterli bir ortamdır. Büyük binalarda oluşturulmuş derin duman haznelerinde, bu tip hazne içi tutuşmalar ve alevli yanmalar görülmüştür (NFPA 204M, 1982).

“Yukarıda bahsedilen etkiler nedeni ile Alman yönetmeliklerinde perde aralarında bırakılması gereken en fazla mesafe 40 metre ile, alan ise 1600 metrekare ile sınırlandırılmıştır. İngiltere’de ise ilgili yönetmeliklere göre duman haznesi boyutları yüksek tavanlı mağaza yapılarında en fazla  $1000\text{--}1300\text{ m}^2$  depo binalarında ise en fazla  $2000\text{ m}^2$  olabilmektedir” (Morgan, 1979).

Duman perdelerinin sıcaklık dağılımına etkisinin kaçış koridoru ölçeğinde incelenmesinde, 3 m. eninde, 3.5 m. yüksekliğinde ve 30 m. boyunda dikdörtgen kesitli koridorda,  $d = 1$  m. derinliğinde duman perdelerinin  $d\text{--}7d$  kadar mesafelerde konumlandırılmaları ile oluşturulmuş

farklı boyutlardaki hazne içlerinde FDS programı ile 0.5 MW gücündeki bir yangının başlangıcından 300 saniye sonraki sıcaklıklar hesaplanmıştır.

Aralarında perde derinliği ( $d$ ) kadar mesafe bırakılarak düzenlenmiş duman perdelerinin oluşturduğu duman haznelerinde hesaplanan sıcaklık  $320^{\circ}\text{C}$  civarında iken; mesafe  $5d$  değerine çıktığında sıcaklığın  $230^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğü görülmüştür. Duman haznesi boyu perde yüksekliğinin altı katına çıkarıldığında sıcaklık ortalama  $140^{\circ}\text{C}$  civarlarında hesaplanmıştır.

Perde hazne boyu perde derinliğinin yedi katına çıktığında sıcaklıklar daha da azalmıştır. Yapılan modellemelerde ele alınan mekan boyutları hesaplamalarda kullanılan bilgisayar kapasitelerinin sınırlayıcılığı nedeni ile yönetmeliklerde verilen değerler kadar büyütülememiştir. Buna rağmen, hazne boyutunun artması ile sıcaklığın azalacağı varsayımını doğrulayan sonuçlar alınabilmektedir.

Duman perdeleri arasındaki mesafe arttıkça duman haznesi sıcaklığı belli oranlarda azalmakta; sık düzenlenmiş duman perdelerinde hazne içinde ısınan hava girdap bölgesi derinliğine inerek perde alt kotlarında da sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Kullanıcı güvenliği açısından çok büyük tehlike oluşturacak bu durum, duman perdesi konumlandırılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden birisi olmalıdır.

## Sonuçlar

Yangın anında kullanıcı güvenliği açısından kaçış yollarına duman ve zehirli gazların dolması, bu tip mekanlarda sıcak gaz girişine bağlı olarak ortam sıcaklığının artması tehlikeli ve istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzluğu aktif ve pasif sistemler kullanarak engellemek ya da bu mekanlara sızmış insan sağlığı açısından tehlikeli olan yanma ürünlerinin hareket hızını yavaşlatarak kaçma süresini uzatmak gereklidir.

Bu amaç doğrultusunda kullanılan pasif yöntemlerden birisi olan tavandan sarkıtılan duman perdeleri uygulanmasının genel yangın dinami-

ğine etkisinin incelenmesinin yapıldığı bu çalışmada, elde edilen bulgular sonucunda varılan genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Herhangi bir mekânda duman perdeleri kullanılarak oluşturulan tüm duman haznelerinin perde yüksekliği ( $d$ ) kalınlığında duman ile dolma süresi, aynı mekanın duman perdesi olmadan  $d$  kalınlığında duman ile dolma süresinden daha kısa olmaktadır.

$$t_{\text{top(DH)}} = t_{DH1} + t_{DH2} + t_{DH3} + \dots + \quad (8)$$

$$t_{DH(n+1)} < t_{\text{duman perdesiz}}$$

- Bu sürenin hesaplanarak geri kazanılması gerekmektedir.

$$t_{\text{duman perdesiz}} - t_{\text{top(DH)}} = t_{\text{kayıp}} \quad (9)$$

- Kaybedilen süre zarfında oluşacak duman alt tabakasının yüksekliği ( $y_{\text{tkayıp}}$ ) süre hesabında kullanılan bağıntı ile hesaplanmalı ve duman kalınlığı ( $M$ ) bulunmalıdır. Duman perdeleri uygulanan mekana komşu herhangi bir hacme doğru duman akışının daha erken başlamaması için, bu mekana ait kapı boşluğunun lento alt hizası, duman perdesi alt hizasından hesaplanan kalınlık ( $M$ ) kadar aşağıda olmalıdır.

$$M = h - y_{\text{tkayıp}} \\ d_{\text{son}} = d + M \quad (10)$$

- Duman perdelerinin aralarında bırakılan mesafe tavan jeti ile taşınan duman hareketini olumlu veya olumsuz etkileyebileceği için oldukça önemlidir. Bu mesafe perde yüksekliği ( $d$ ) ile orantılı olarak hesaplanmalıdır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre; aralarında duman perdesi yüksekliği  $d$  kadar mesafe bırakılan duman perdelerinde duman hazneleri dolmadan perde alt kotu hizasında duman hareketi oluşmuş, haznelerde sıkışan ortam havası duman tabakasını aşağıya itmiştir.



Aralarında  $2d$  mesafe bırakılan duman perdelerinde, duman aradaki hazneyi atlayarak bir sonraki hazneye yönelmiş, aradaki duman haznesinde bir miktar ortam havası sıkışmıştır.

$3d$  mesafe ile konumlandırılan perdelerde ilk duman perdesinin arkasındaki hazne ile aynı anda bir sonraki hazneye doğru da bir akım ayrışması görülmüştür.

$4d$  mesafe ile konumlandırılan perdelerde de  $3d$  mesafe ile konumlandırılana benzer bir hareket görülmüş; ilk duman perdesinin arkasındaki hazne ile aynı anda bir sonraki hazneye doğru da bir akım ayrışması görülmüştür.  $5d$  mesafe ile konumlandırılan perdelerde hazne içindeki akım laminer hale gelmeden bir sonraki perde ile karşılaşmış; dolayısı ile çalkantılı bir duman tabakası oluşmuştur.

Mesafe  $6d$ 'ye çıkarıldığında akım kararlı bir hal alarak hazne içinde istenen düzgün yayılma sağlanmıştır. Bu nedenden dolayı düzenlenen duman perdeleri arasında en az  $6d$  kadar mesafe bırakılması uygun olmaktadır.

- Duman perdeleri arasındaki mesafe arttıkça tavan yüzeyindeki sürtünme kuvveti akış doğrultusundaki tavan jeti hızını azaltacak ve ilerleme yavaşlayacaktır. Tavan jeti hızı, dönüş jeti hızı ve yerçekimi ivmesinin hız vektörleri toplamından küçük değerlere geldiğinde duman kitlesi yönünü değiştirerek düşey hız vektörleri doğrultusunda hareket ederek alçalmaya başlayacaktır. Yapılan çalışma sonucunda aralarında  $20d$  ve üstü mesafe bırakılan duman perdelerinde bu şekilde bir alçalma görüldüğünden,  $20d$  mesafesi hız vektörlerinin yönünün değişmemesi için üst sınır olarak alınabilir.
- Perde aralarındaki mesafelerin artması ile perdelerin oluşturduğu duman haznesi alanları da orantılı olarak büyüyecektir. Hazne boyutları büyüdükçe hazne içinde biriken duman hacmi de büyüyecek ve soğumaya başlayacaktır. Soğuyan üst tabaka dumanının alçalarak ortam havasına karışması iste-

nen bir durum değildir. Yapılan çalışmada gerek ele alınan örnek planın boyut sınırlamaları, gerekse de bilgisayarların sınırlı kapasiteleri nedeni ile üst sınırı oluşturacak boyutta bir hesaplama yapılamamıştır; ancak İngiliz ve Alman yönetmeliklerinde bu konuda verilen sınır değerlere göre iki duman perdesi arasındaki izin verilen en fazla mesafe  $40\text{ m.}$ 'dir. Bu durumda;

$$20d \leq 40\text{ m.} \quad (11)$$

olmalıdır.

- Bazı geniş mekanlarda ise mekan eni önemli parametre olacağından mekan enine ( $Y$ ) bağlı alan hesabı yapılmalı perde aralarında bırakılan hazne alanı  $1000\text{ m}^2$  altında olmalıdır.

$$20d \times Y \leq 1000\text{ m}^2 \quad (12)$$

- Perde aralarındaki mesafelerin azalması akım çizgilerini etkilediği gibi perdelerin oluşturduğu duman haznesi alanlarının küçülmesine dolayısı ile hazne içi sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Yapılan modellemede aralarında  $d$  mesafesi bırakılan perdelerde hazne içi sıcaklığı  $320^\circ\text{C}$  hesaplanırken  $5d$  ve  $6d$  mesafelerde  $100^\circ\text{C}$  'a varan azalmalar görülmüş hazne sıcaklıkları  $230\text{-}140^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.
- Perde konumlandırması perde alt kotlarındaki sıcaklıkları da etkilemiş, aralarında  $3d$  mesafeden az mesafe bırakılan perdelerde, alt tabaka sıcaklığında  $320^\circ\text{C}$  hesaplanmış; ancak mesafe  $4d$ 'nin üzerine çıktığında en fazla hesaplanan sıcaklık değeri  $200^\circ\text{C}$  civarında olmuştur.
- Duman perdesi alt hizasından zemine kadar olan temiz mesafe perde alt kotunda oluşacak türbülans derinliği de dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Yapılan çalışmada türbülans derinliği  $d$  derinliğindeki bir perdede yaklaşık  $3/5d$  çıktığından temiz mesafe;

$$h-(d+3d/5) \geq 2\text{ m.} \quad (13)$$

olmalıdır.

## Kaynaklar

- Alpert R.L., (1975). Turbulent ceiling-jet induced by large-scale fires, *Combustion Science Technologies*, **11**, 197-213.
- McGrattan, K. B., Baum, R.H., Rehm, R. G., (2004). *Fire Dynamics Simulator (Version 4)-Technical Reference Guide*, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, NISTIR 6783, Mayıs 2004.
- Morgan, H., P., (1979). Smoke control methods in enclosed shopping centres of one or more stories: A design summary, Building Research Establishment Report, HMSO, London.
- NFPA 204M, (1982). *Guide for smoke and heat venting*, National Fire Protection Association, Quincy.
- Purser, D., A., (1992). Toxicity assessment of combustion product, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Society of Fire Protection Engineers, NFPA, Quincy, USA.
- Sunar, Ş., (1981). *Yangından korunma ve bina yangın güvenliği ilkeler çelişkiler gerçekler*, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Stollard, P., Abrahams J., (1991). *Fire from first principles*, Chapman Hall, London.
- Shields, T., J., Silcock, G., W., H., (1987). *Building and fire*, Longman Scientific & Technical, Singapore.